

Электрокалорический эффект в релаксорах: реальность и перспективы

Е.П. Смирнова¹, Г.Ю. Сотникова¹, Н.В. Зайцева¹, Г.А. Гаврилов¹, А.А. Капралов¹,
А.В. Сотников^{1,2}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: esmirnoffa@gmail.com

²Leibniz IFW Dresden, D-01069 Дрезден, Германия

Электрокалорический эффект (ECE) в настоящее время рассматривается как физическая основа для перспективных твердотельных технологий охлаждения. Особый интерес представляет применение ECE в микроэлектронике и компьютерной технике, поскольку позволяет минимизировать размеры охлаждающих элементов, управляемых электрическим полем.

Релаксоры (сегнетоэлектрики с размытым фазовым переходом) являются перспективными электрокалорическими материалами. По сравнению с обычными сегнетоэлектриками их характерными особенностями являются размытие фазового перехода (следовательно, ожидаемый широкий диапазон рабочих температур) и высокая чувствительность к внешним воздействиям, в том числе к электрическому полю. Необычные физические свойства определяются существованием естественной наноструктуры – полярных нанообластей в параэлектрической матрице.

ECE неразрывно связан с пирозлектрическим эффектом, который в соответствии с соотношением Максвелла [1] и определяет, в основном, электрокалорический отклик наряду с теплоемкостью. Пирозлектрический эффект, в свою очередь, обусловлен изменением поляризации с температурой. Как известно, существует первичный (для зажатых образцов, диэлектрический вклад) и вторичный пирозлектрические эффекты. Влияние последнего для термодинамически свободного образца определяется пьезоэлектрическими и упругими свойствами материала, а также величиной теплового расширения.

Релаксоры не проявляют реальных пьезоэлектрических свойств из-за макроскопически изотропного состояния. В тоже время, поляризация, индуцированная внешним электрическим полем в таких средах, сопровождается деформацией за счет эффекта гигантской электрострикции. Возникающая деформация характеризуется, по аналогии с пьезоэффектом, эффективным пьезоэлектрическим коэффициентом достигающим $\sim 1000 \text{ pC/N}^{-1}$. Кроме того, релаксоры обладают малым тепловым расширением ($\alpha \approx 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), которое, наряду с теплоемкостью, слабо зависит от температуры.

Опубликованные результаты исследования пирозлектрического и электрокалорического эффектов для релаксоров, противоречивы, во многом зависят от методов измерений (в основном, косвенных) и расчетов. В данной работе проведен анализ соотношения величин физических параметров, вытекающих из уравнения Максвелла и из рассмотрения пирозлектрического эффекта, которые определяют вклад в достоверный электрокалорический отклик релаксоров. Обсуждаются особенности и корреляция пирозлектрического и электрокалорического откликов релаксоров с такими физическими параметрами, как диэлектрические проницаемости, эффективный пьезоэлектрический модуль, упругий модуль и тепловое расширение. Рассмотрение основывается как на данных, полученных авторами данной работы, так и на опубликованных результатах. Обсуждаются критерии и возможности оптимизации свойств ECE материалов и условий их использования, включая возможности повышения мощности охлаждения и энергоэффективности.

1. J.F. Scott, B. Dkhil, *Appl. Phys. Rev.* **3**, 031102 (2016).